

угл. интервал, тем лучше разрешение по скорости. Предельное разрешение счётчика по скорости обусловлено неск. явлениями, ограничивающими допустимое сужение угл. интервала $\Delta\theta$: 1) дисперсией света в среде, т. е. зависимостью коэф. преломления среды от частоты излучения; дисперсия приводит к конечной ширине угл. интервала черенковского излучения в области спектральной чувствительности; 2) многократным рассеянием и замедлением частиц в радиаторе; 3) угл. расхождением частиц в пучке, приводящим к смещению кольца, в к-рое собирается черенковское излучение, в фокальной плоскости оптич. системы. Для получения хорошего разрешения пучок частиц должен обладать высокой степенью параллельности (до сотых долей градуса). Газовые Ч. с. с разрешением $\Delta\beta/\beta = 10^{-4}$ могут разделять π^+ , K^+ и протоны до импульсов 20—25 ГэВ/с. Дальнейшее улучшение разрешающей способности требует корректировки оптической системы на дисперсию света в газах. Счётчики с разрешением $\Delta\beta/\beta = 10^{-5}$ позволяют разделять π^+ , K^+ и протоны с импульсами до 50—100 ГэВ/с.

Газовые пороговые счётчики, как правило, не обладают таким высоким разрешением по скорости, как дифференциальные. Однако, пользуясь пороговыми Ч. с. с малым давлением (высоким порогом) и большой длиной (~10 м), чтобы обеспечить достаточное число квантов черенковского излучения, можно разделять между собой π^+ , K^+ и протоны вплоть до 20 ГэВ/с, а мюоны, пионы и электроны — до 10 ГэВ/с и более.

Регистрация вторичных частиц. Для идентификации вторичных частиц, образующихся при взаимодействии первичных частиц с мишенью, или при взаимодействии встречных пучков, имеющих широкое угл. распределение, используются многоканальные (гodosкопические) газовые Ч. с. или Ч. с. с регистрацией изображения кольца излучения. Фотоны регистрируются на нек-ром расстоянии от короткого радиатора не ФЭУ, а плоской многопроволочной пропорциональной камерой, наполненной газовой смесью, имеющей высокую эффективность регистрации фотонов черенковского излучения. Точки пересечения траектории фотонов с плоскостью пропорциональной камеры образуют окружность, радиус к-рой определяется скоростью частицы.

Ч. с. с жидким радиатором могут применяться в качестве пороговых детекторов, причём изменение порога осуществляется выбором жидкости с нужным n . Такими жидкостями являются терпентин ($n=1,475$), этиленгликоль ($n=1,427$), вода ($n=1,333$). Др. направлением исследований, где используются Ч. с. с жидким радиатором, являются эксперименты, в к-рых необходим радиатор большого объёма. Это регистрация нейтрино от ускорителей, поиск распада протона, изучение космич. нейтрино высоких энергий. В этих случаях в качестве радиатора используются большие объёмы воды. Так, напр., для регистрации нейтрино на расстоянии 570 км от ускорителя лаборатории имени Ферми (США) в соляной шахте близ Кливленда был построен Ч. с. с водяным радиатором объёмом 6842 м³. Вспышки излучения регистрировались 2048 ФЭУ.

Для регистрации космич. нейтрино очень высоких энергий проводятся глубоководные эксперименты, в к-рых в качестве радиатора используется морская или пресная вода естеств. водоёмов. В 1993—94 вошёл в строй т. н. детектор «Байкал». На расстоянии 4,5 км от берега в озеро Байкал на глубину 1,3 км опускаются тросы, на к-рых укреплены контейнеры с ФЭУ. Контейнеры имеют окна, через к-рые фотоны попадают на фотокатоды ФЭУ. Сигналы с ФЭУ передаются на поверхность озера по кабелю и регистрируются аппаратурой, расположенной на берегу.

Ч. с. полного поглощения предназначены для идентификации и измерения энергии электронов и γ -квантов. Радиатор таких Ч. с. изготовлен из тяжёлого прозрачного материала. Электрон или γ -квант, взаимодействуя с веществом радиатора, образует электронно-фотонный ливень, в процессе развития к-рого число вторичных электронов и фотонов сначала растёт, а энергия их уменьшается; затем, начиная с нек-рой глубины поглотителя, число час-

тиц в ливне падает. Если радиатор имеет достаточно большую толщину, то практически вся энергия первичного электрона или γ -кванта в нём поглотится. Суммарный пробег электронов в ливне пропорционален энергии первичной частицы и, следовательно, пропорционален числу фотонов, испущенных всеми частицами ливня. Т. о., амплитуда импульса на выходе ФЭУ в Ч. с. полного поглощения несёт информацию об энергии первичного электрона или γ -кванта.

Размеры радиатора, обеспечивающие полное поглощение энергии электрона, слабо зависят от его энергии. Так, при энергиях 100 МэВ—1 ГэВ необходимая толщина радиатора составляет $10x_0$ (x_0 — радиационная единица длины материала радиатора). При энергиях до 100 ГэВ соответствующая толщина равна $20x_0$. Поперечные размеры ливня от энергии не зависят. Для оценок поперечных размеров радиатора используется т. н. мольтеровский радиус $R_M = 21 \text{ МэВ } x_0/\epsilon_c$, где ϵ_c — предельная энергия; 99% энергии ливня поглощается в цилиндре радиусом $3R_M$. Наиб. распространённый материал для радиаторов Ч. с. полного поглощения — свинцовое стекло (тяжёлый флинт), содержащее ок. 50% окиси свинца. Плотн. его 3,6 г/см³, радиац. длина 2,5 см. Обычно Ч. с. этого типа на ср. энергии (до 1 ГэВ) имеет радиатор толщиной 30 см и обладает энергетич. разрешением σ , определяемым соотношением $\sigma/\epsilon_c \propto 1/\sqrt{\epsilon_c}$, где ϵ_c — энергия частицы в ГэВ.

Ч. с. полного поглощения используются в эл.-магн. калориметрах, предназначенных для идентификации электронов и фотонов, измерения их энергии и координат точки входа в калориметр (см. *Ионизационный калориметр*).

Идентификация электронов и фотонов основана на их специфич. взаимодействии с радиатором, сопровождающемся образованием ливня и быстрым поглощением энергии. Более тяжёлые частицы (мезоны, нуклоны и др.), взаимодействуя с радиатором, не образуют ливня и теряют лишь часть своей энергии на ионизаци. потери и ядерные взаимодействия. Благодаря этому величина импульса на выходе Ч. с. при регистрации тяжёлых частиц значительно меньше, чем при регистрации электронов или γ -квантов.

Для измерения координат точки попадания электрона в детектор эл.-магн. калориметр изготавливают секционированным, состоящим из большого числа Ч. с. полного поглощения (гodosкопич. структура). Радиатор каждого Ч. с. обычно имеет форму прямоуг. призмы, длина к-рой отвечает условию полного поглощения для определ. интервала энергии, а поперечные размеры равны $(1+2)R_M$. При этом регистрация электрона в калориметре сопровождается срабатыванием неск. Ч. с., т. к. поперечные размеры ливня превышают размер отд. радиатора и часть энергии поглощается в соседних Ч. с. Координата точки попадания частицы в детектор определяется из соотношения амплитуд импульсов в соседних элементах калориметра. Энергия первичной частицы определяется суммой амплитуд импульсов. Примером калориметра из Ч. с. полного поглощения является спектрометр АМС-2000 в ФВЭ (Серпухов). Спектрометр состоит из 1536 Ч. с. с радиаторами из свинцового стекла размерами $38 \times 38 \times 450 \text{ мм}^3$. Энергетич. разрешение при энергии 25 ГэВ равно $\pm 2\%$, точность измерения координат при той же энергии составляет $\pm 1,3 \text{ мм}$.

В качестве материалов для радиаторов Ч. с. полного поглощения применяются также тяжёлые монокристаллы (TiCl₄, RbCl₂ и др.), у к-рых радиац. длина 1 см. Применение таких кристаллов позволяет создать компактные детекторы с хорошим энергетич. и пространственным разрешением (см. *Координатные детекторы*).

Лит.: Джелли Дж., Черенковское излучение и его применения, пер. с англ., М., 1960; Линденбаум С., Юан Л., Черенковские счётчики, в кн.: Принципы и методы регистрации элементарных частиц, пер. с англ., М., 1963; Зрелов В. П., Излучение Вавилова — Черенкова и его применение в физике высоких энергий, т. 1—2, М., 1968; Черенковские детекторы и их применение в науке и технике. Сб., М., 1990. А. С. Белоусов.

ЧЕРЕНКОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ — см. Черенкова — Вавилова излучение.